

Tartu Ülikool
Sotsiaalteaduste valdkond
Psühholoogia instituut

Oliver Jared Uibopuu

KAS ENDA KÄE LIIKUMISE PIIRKONNAS VÄHENEB VISUAALSE TAJU TÄPSUS?
KONTRASTI TAJUMISE ERINEVUSED PIIRKONNAS, KUS KÄSI LIIGUB
VÕRRELDES PIIRKONNAGA, KUS LIIKUMINE PUUDUB

Uurimistöö

Juhendaja: Jaan Aru (PhD)

Läbiv pealkiri: Eferentskoopia teooria vs. aktiivse järeldamise teooria

Tartu 2018

Kas enda käe liikumise piirkonnas väheneb visuaalse taju täpsus? Kontrasti tajumise erinevused piirkonnas, kus käsi liigub võrreldes piirkonnaga, kus liikumine puudub

Lühikokkuvõte

Käesoleva töö raames uuriti sensoorse täpsuse vähenemist virtuaalreaalsuse (VR) keskkonnas. Uurimistöö aluseks oli aktiivse järeldamise teooria. Sellest lähtuvalt püstitati uurimisküsimus, kuidas inimese enda käe liikumine mõjutab samas piirkonnas asetseva sihtstiimuli kontrasti tajumist. Katses osales 27 katseisikut, kelle ülesandeks oli valida VR keskkonnas kuvatud kahest erineva kontrastiga kerast kontrastsem, sooritades samal ajal käeviibet kerade piirkonnas. Analüüsi tulemustest ilmnnes, et kera kontrasti, mis asetses „käe taga“ ei hinnatud kontrollstiimuliga võrreldes statistiliselt oluliselt erinevaks.

Märksõnad: taju, sensoorne allasurumine, virtuaalreaalsus, visuaalne tähelepanu, eferentskoopia teooria, aktiivse järeldamise teooria

Does the accuracy of the visual perception decrease in the area of your own hand movement? Differences in perception of contrast in the area where the hand moves compared with the area where there is no movement

Abstract

The present study examined the reduction of sensory perception using the virtual reality (VR) environment. The study was based on active inference theory. It was examined how the movement of subject's own hand affects the perceived contrast in the area of vision where the hand moves. A total of 27 participants took part in the experiment: they were instructed to choose between two globes with varying contrast that were presented to them in a VR environment while they executed a hand movement in the region of the globes, while choosing the more contrasted one. The analysis showed that the contrast of the "behind hand" globe was not evaluated statistically significantly different from the control condition.

Keywords: perception, sensory attenuation, virtual reality, visual attention, efference copy theory, active inference theory

Sissejuhatus

Intrigeerivale küsimusele, kuidas inimene kui mehhanism toimib, on üritatud järele jõuda juba tuhandeid aastaid. Siiani teadaolevalt üheks vanimaks inimese toimimise seaduspärasid kirjeldavaks kirjutiseks on Edwin Smithi nimeline papüürus aastast ligikaudu 1600 eKr (Vargas jt., 2012). Inimese toimetehhanismide taga peituvate seaduspärade uurimine on ka tänasel päeval aktuaalne. Antud uurimistöös keskendutakse selle visuaalse taju aspektile. Inimene saab suure osa infost läbi nägemise, samas mõjutab ta ise võrdlemisi suurt osa nägemisväljas toimuvast, näiteks korvpalli mängides, kui meeskonnakaaslane on teinud ootamatu palli söödu, toome me käed suurel kiirusel nägemisvälja püüdmaks palli, kuid samasse piirkonda suurel kiirusel sisenenud käed ei tõmba tähelepanu pallilt. Tekib küsimus, miks me ei reageeri nägemisvälja aeg-ajalt sattuvatele objektidele (kätele, jalgadele) sarnase tähelepanuga nagu välistele ootamatutele objektidele (linnud, loomad, autod, pallid)? Lihtsalt vastates on oma jäsemete nägemisvälja sattumine ootuspärane, aga selle ilmnunud ootuspärasuse selgitamine läbi teaduslike paradigmat on osutunud oodatust keerulisemaks.

Kaasajal on jätkuvalt võistlemas kaks teooriat antud nähtuse selgitamiseks - eferentskoopia ja aktiivse järeldamise teooriad. Antud uurimistöös raames viidi läbi visuaalse tähelepanu eksperiment nende teooriate toimimise kontrollimiseks. Esimest neist teooriatest kirjeldas autorile teadaolevalt varaseimalt Johann Georg Steinbuch, teoses "Beitrag zur Physiologie der Sinne", aastal 1811. Alternatiiv eelnimetatud teooriale, mis on ka eelkäija teisele antud uurimistöös käsitletud teooriale nimega aktiivse järeldamise teooria, ilmus üle poole sajandi hiljem, aastal 1867 Hermann von Helmholtz poolt teoses „Handbuch der physiologischen Optik“.

Eferentskoopia teooria

Mitmed autorid on jõudnud arvamusele, et me kasutame infot oma mootorsetest käsklustest eristamiseks meie enda tekitatud sensorset infot välisest (Blakemore jt., 1998). Eferentskoopia lihtsalt sõnastatult on koopia mootorsetest keskustest väljuvast liikumise käksignaalist, mis on suunatud sensorsetesse keskustesse ja muudab nõnda muuhulgas võimalikuks iseenda poolt tekitatud liikumise eristamise nägemisväljas (Angel, 1976). Näiteks on eferentskoopiat peetud põhjuseks, miks me ei saa ennast kōditada. Kui üritame ennast kōditada, saadetakse sensorsetesse keskustesse eferentskoopia ja sensoorsed keskused võtavad seda oma töös

arvesse, nii et kõdi tunnet ei teki (Blakemore jt., 2000). Kuid seda sama fenomeni saab selgitada ka aktiivse järeldamise teooriaga.

Aktiivse järeldamise teooria

Aktiivse järeldamise teooria (*active inference theory*) baseerub Bayesi teoreemil (mis väljendab sündmuste toimumise tõenäosust) ja eeldusel, et organismid on võimelised prognoosima tajulisi sisendeid. Selle teooria põhjal prognoosib aju keha ja keskkonna interaktsioonide tulemusi, ehk ennustab järgnevat tajulist sisendit (Friston, 2010). Erinevalt eferentskoopiatest, mis teooria kohaselt hoiavad sensoorseid keskusi pidevalt kursis liikuja enda kehaosade paiknemise kohta, toimub aktiivse järeldamise teooria kohaselt ajus prognooside loomine enda liigutuste võimalike tagajärgede kohta. Selle teooria kohaselt peaks enda kehaosade liigutuse piirkonnas sensoorne täpsus langema, kuna see on tarvilik liigutuse elluviimiseks (Brown jt., 2013; Clark, 2015; Friston, 2010; Friston & Kiebel., 2009; Friston & Stephan., 2007; Laak jt., 2017; Von Helmholtz, 1867).

Käesolev katse

Käesoleva uurimistöö läbi viidud eksperimendi eesmärgiks on uurida, kas varasemates uurimistöödes kinnitust leidnud sensoorse täpsuse vähenemine liikuva käe piirkonnas on tingitud eferentskoopia teooriast või aktiivse järeldamise teooriast. Käesoleva uurimistöö raames läbi viidud eksperimendis ilmuvad stiimulid küll käe taha, kuid neil puudub liikumine, mis vähendas varasemates uurimustes (Laak jt., 2017) võimalust seletada tulemusi konkurentsilt vaid ühe teooriaga. Seega, kui antud uurimistöös tõstatatud hüpotees leiab kinnitust, ehk kui käetaguse info tajumine on halvenenud, siis ei suuda eferentskoopia teooria seda selgitada.

Klassikaliste eksperimentaalpsühholoogia vahenditega oleks antud uurimistöös tõstatatud küsimust, et kas katseisikud hindavad käetaguseid stiimuleid tegelikust vähem kontrastsemaks, testida äärmiselt keeruline. Katseisik (KI) peaks selleks nägema sihtstiimulit läbi oma liikuva käe, nägemata kätt ennast (Laak jt., 2017). Sellised takistused on ületatud kasutades virtuaalreaalsuse (VR) seadmeid ja käe positsioneerimise seadet. Eelmainitud tehnoloogia võimaldab kuvada KI-le objekti liikuva käe piirkonda nii, et ta ise samal ajal oma

liikuvat kätt ei näe ja vaadelda, kas n-ö käetaguse objekti tajumise täpsus on halvenenud. Sarnast tehnoloogiat (VR seadmeid), aktiivse järeldamise teooria ja eferentskoopia teooria uurimiseks on autorile teadaolevalt kasutatud varasemalt vaid Laak jt. (2017) uurimistöö raames. Laak jt. (2017) uurimistöös leiti, et käe piirkonnas olid sihtstiimulile reageerimise ajad aeglasemad, ehk esines sensoorse täpsuse allasurumine, mis on seletatav aktiivse järeldamise teooriaga. Kuid, kuna sihtstiimul ja käsi liikusid ligikaudu sama kiiruse ja suunaga, siis motoorsete käskluste eferentskoopia ja sellest tulenevatest prognoositavad tagajärjed kattusid sihtstiimuliga – ehk seda tulemust on võimalik seletada ka eferentskoopia teooriaga (Laak jt., 2017).

Püstitatud hüpotees: Katseisikud hindavad käetaguseid stiimuleid kontrollstiimulitest vähem kontrastsemaks.

Meetod

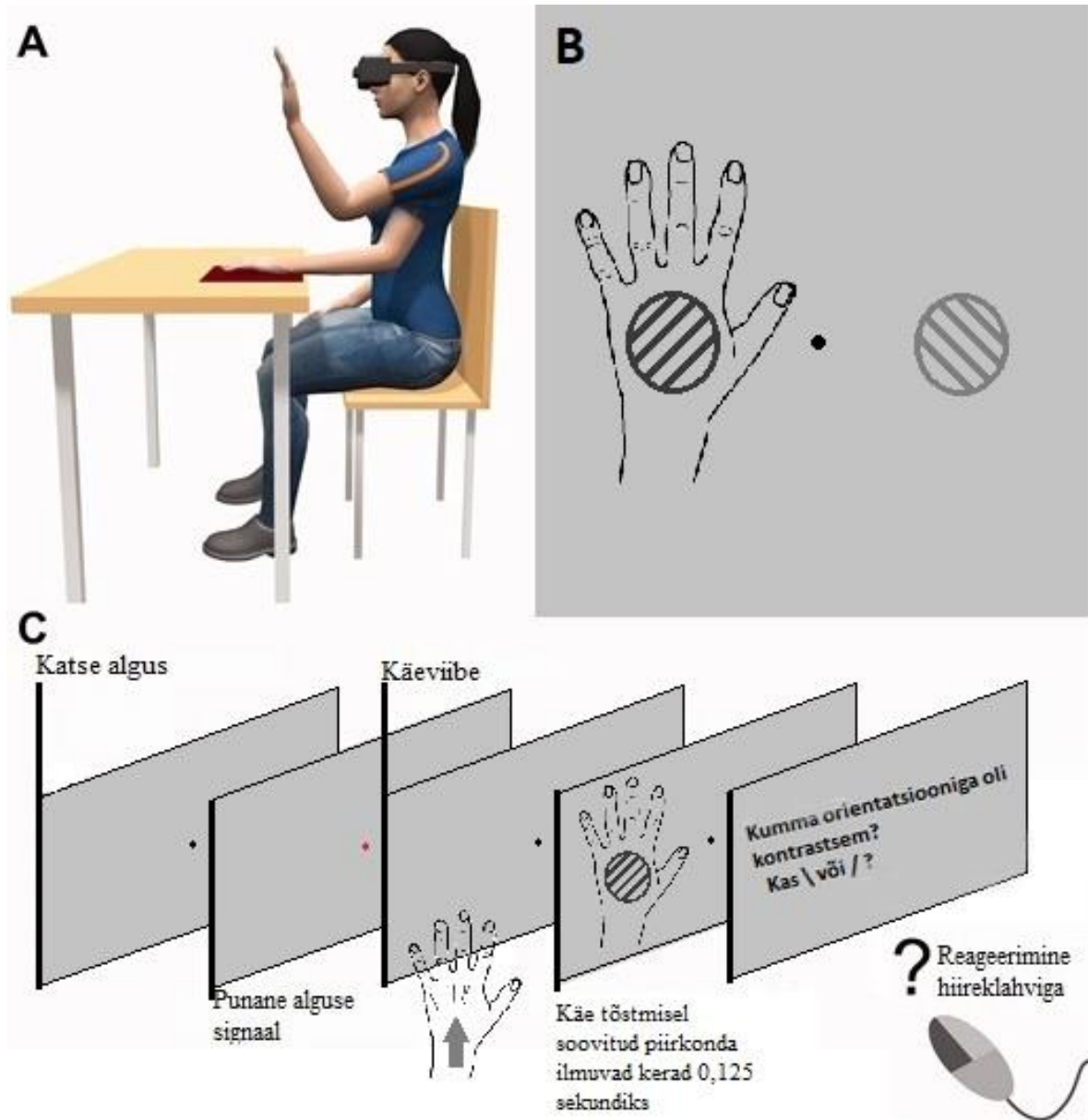
Valim

Katse valimiks olid 27 tervet, normaalse või korrigeeritud nägemisega katsealust (18 meessoost, 9 naissoost, vanuses 19-58 [mediaan 25; aritmeetiline keskmine 28,3]). Valim kujunes sotsiaalse meedia kanalite kaudu jagatud kutse abil. Katsesse pääsemise eelduseks oli Laak, jt. 2017 eksperimentides mitte osalemine, kuna esines oht, et KI-d hakkavad rohkem jälgima käetaguseid stiimuleid võrreldes teisel pool paiknevatega. Kõik katsealused allkirjastasid informeeritud nõusoleku lehe.

Üldine katsedisain

Hüpoteeside testimiseks kasutati Tartu Ülikooli informaatika teaduskonna bakalaureuse lõputööna valminud programmi, kasutades VR prille koos käte liigutusi registreeriva VR seadmega, millega registreeriti käte liigutuste koordinaadid, kuvamata käsi VR keskkonnas (Joonis 1) (Koppel, 2017). VR prillide kasutamine võimaldas saada täieliku kontrolli KI nägemisvälja üle. KI käsi ei kuvatud talle kuvatavasse VR keskkonda, kuid käte matemaatilisi-füüsikalisi parameetreid (asukoht, kiirus, orientatsioon) jälgiti ja salvestati vastava tarkvara poolt. Seeläbi oli võimalik näha, kas aju omab teadmist käe positsiooni

kohta ja seeläbi vähendab taju nägemisväljas alal, mis muidu oleks kaetud käe poolt. Kui tekstis on mainitud, et “sihtstiimul on käe taga”, siis reaalsuses on käsi katseisiku jaoks nähtamatu.



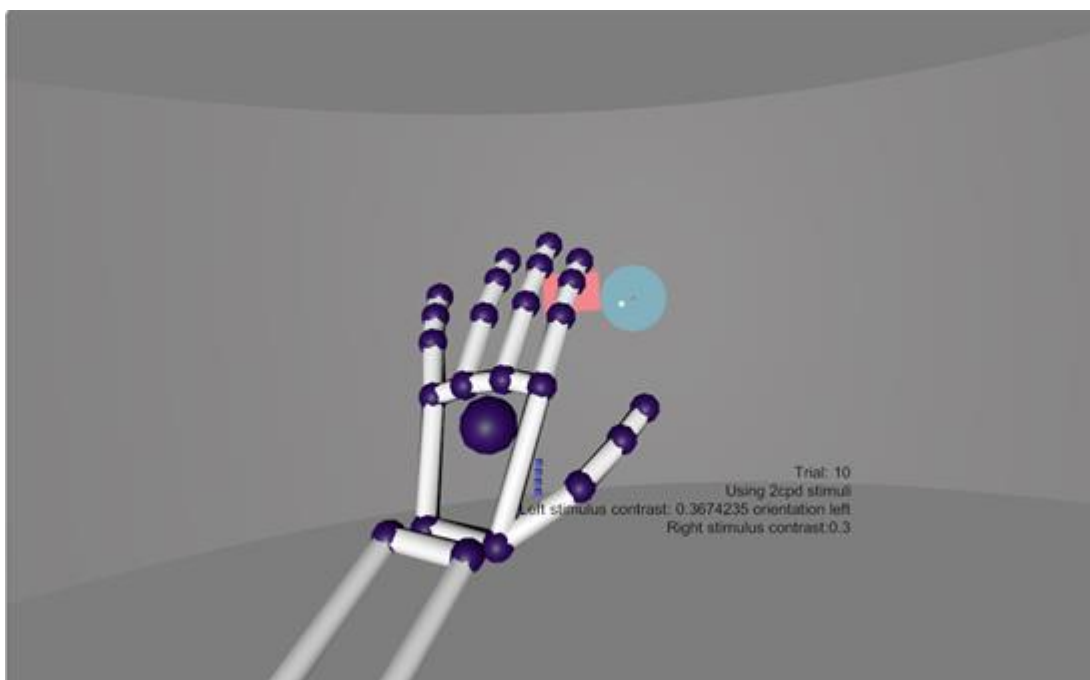
Joonis 1. Katsetingimused

A. Illustratsioon füüsilistest katsetingimustest: KI-d istusid laua taga ja sooritasid eelnevalt treenitud käeliigutust, sellal kui käsi jäi nende jaoks VR keskkonnas nähtamatuks. Käe koordinaadid salvestati ja stiimuleid esitati liikuva (nähtamatu) käe taga. Illustratsioonil on vasak käsi näha mõlemas asendis. Joonis A allikas: Laak jt., 2017.

B. Illustratsioon VR keskkonnast. Märkus: joonis on illustratiivne - käsi polnud nähtav; kerade viirutustihedus ning kontrastid on joonisel lihtsustatud kujul.

C. Ühe katsekorduse kirjeldus lineaarses järjestuses. Peale hiireklahviga vastuse andmist hajus pilt sekundiks mustaks ja algas järgmine katsekordus.

Katseisikutele näidati nägemisvälja keskpunkti suhtes horisontaalselt mõlemal pool asetsevat viirutatud kera. Üks keradest oli kontrastsem, välja arvatud kontrolltingimuses, mille puhul oli mõlema kera kontrastiks 0,3. Kerade sees olevat viirutust esines nii tihedate joontena kui ka hajusatena. Kerade viirutuse kaldenurk oli katsekorduses alati erinev, see tähendab, et kui näiteks vasakul keral oli viirutus paremale tõusvas joones, siis paremal keral oli viirutus paremale langevas joones. KI-de ülesanne oli hoides pilku alaliselt fiksatsioonipunktil (FP) (Joonis 2) sinise ringi keskel ja märgata, kumb keradest oli kontrastsem, millise kaldenurgaga oli selle viirutus. KI valiku stiimulite vahel registreeris vajutus hiire klahvile. Juhul, kui kontrastsema kera viirutus oli paremale tõusvas joones, oli KI instrueeritud vajutama hiire paremat nuppu, juhul kui viirutus oli paremale langevas joones, siis vasakut nuppu. Kerade ilmumise tõi kaasa KI käe viibe, mida oli eelnevalt koos eksperimentaatoriga harjutatud. KI-d oli instrueeritud pidevalt vaatama fiksatsioonipunktile, milleks oli keset vaatevälja esinev täpp. Katse jooksul tingimused varieerusid juhuslikus järjekorras: pooltel kordadel oli kontrastsem kera käe alas ja ülejäänud kordadel käe piirkonnast väljaspool.



Joonis 2. Eksperimentaatori vaade

Joonisel on kuvatõmmis eksperimentaatori ekraanilt, samal ajal kui KI-le oli kuvatud vaid fiksatsioonipunkt. Sinine ring on FP raadius ja selles ringis paistev valge täpp on KI

vaatepunkt FP suhtes. Punktidest joonistuva käe pöidla siseküljel on näha siniseid kuubikuid, mis näitavad käe liikumise trajektoori. Trajektoori sihiks oli joonisel nähtav roosa ristkülik, mille sisepiiridesse pidi käeviibe jõudma, et katsekordus läheks arvesse st, et ilmuksid stiimulid.

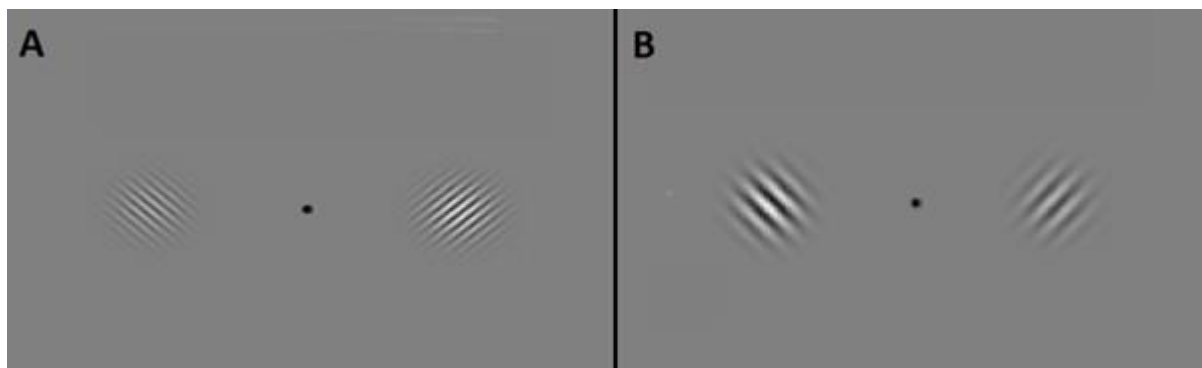
Ruumi ülesehitus

Eksperiment viidi läbi akendeta ruumis, et vältida päevavalgust, mis võiks negatiivselt mõjutada infrapunasensorite abil töötavat käe asupaiga jälgimise seadet. Terve katse vältel istusid KI-d laua taga. Pooled KI-d alustasid katset vasak käsi laual (ülejäänud alustasid katset parem käsi laual) ja parem käsi lödvestunult koos hiirega põlvel (Joonis 1A). Vasak käsi lebas kõval hiirematil, kuna selle mittepeegeldav matt pind parandas käe tuvastamist sensori poolt. Katse keskel (peale poolte katsekorduste [100 tk]) vahetati käsi: parem käsi asetati hiirematile ja vasak käsi koos hiirega põlvele. Need, kes alustasid parem käsi hiirematil, toimisid vastupidiselt.

Virtuaalreaalsuse tehnoloogia

Katseisikud kandsid virtuaalreaalsuse peaseadet Oculus Rift (Oculus VR, LLC) 100 kraadise vaate- ja 90 Hz värskendusmääraga. Peaseadmel on mitmed lühidistanti infrapuna sensorid, mida jälgib Oculus-e infrapunakaamera, mis koos peaseadmes oleva güroskoobi ja kiirendusmõõturiga võimaldab täpse ja vähese latentsusega ruumilise positsiooni jälgimist. Käe liikumise jälgimiseks kasutati Leap Motion Controller (Leap Motion, Inc; “Leap”) Orion SDK süsteemi (versioon 3.1.2). Leap jälgib käe ja sõrmede positsiooni, kiirust ning orientatsiooni. Seadmel on vähene viivisaeg ja positsioneerimistäpsus keskmiselt 1,2 mm (Weichert jt., 2013). Leap-i riistvara komponent kasutab kahte optilist infrapuna sensorit ja kolme infrapuna valgusdiodi (*led*), et detekteerida käte liikumist horisontaalselt 150 ja vertikaalselt 120 kraadi ulatuses.

Stiimulid



Joonis 3. Stiimulite viirutused

Joonisel on näha katses esinenud viirutuste tüübid. A - tihe viirutus, B - hajus viirutus. Lisaks on näha ka kontrastsuse erinevused nii A kui ka B siseselt.

KI jaoks moodustasid virtuaalse keskkonna hall taust, fiksatsioonipunkt ja kaks kera, nagu võib näha joonisel 3. Stiimulite kontrast, viirutusnurk ja viirgude tihedus genereeriti randomiseeritult iga katse alguses. Viirutustihedus keradel oli katsekorduse siseselt sama (2CPD - hajus viirutus [Joonis 3B], 4CPD - tihe viirutus [Joonis 3A]), mis tähendab, et katsekordustes ei esinenud olukorda, kus üks keradest oleks kerade paari siseselt tiheda viirutusega ja teine hajusa viirutusega, ega esinenud ka olukorda, kus viirutus mõlemal keral oleks sama kaldenurgaga. Stiimuli ilmumise algatas vertikaalne käeliigutus. Sihtstiimuliks oli alati kontrastsem kera. Katses esines viis erinevat kontrastsuse taset: 0,2; 0,244949; 0,3; 0,3674235; 0,45. Ühe kera (kas vasaku või parema) kontrast oli alati 0,3.

Protseduur

Võimaldamaks täpsemat käeliigutuste registreerimist, anti katseisikutele korraldus eemaldada kõik aksessuaarid (ehted, kell jmt) ja paljastada käsi küünarnukini (käised üles kerida). Katseisikud juhatati läbi treeningu, mis koosnes käe viipamise harjutusest, ilma käe viipeta kontrastsusele reageerimise treenimise harjutusest ja harjutusest, kus käe viipamine ja kontrastsusele reageerimine olid kombineeritud. Kombineeritud harjutust viidi läbi 10 kordust, vajadusel sama palju veel. Käeviipe harjutamine viidi läbi ilma VR peaseadmeta. Esmalt näitas eksperimentaator viipe ette, lausudes: “Käe peab tõstma algpositsioonist laualt otse üles silmade kõrguseni ja seejärel tagasi lauale algpositsiooni viima. Liigutus peab olema sujuv ja käsi ei tohi üleval seisma jääda. Liigutus peab suunduma otse üles, et vältida

peaseadmele liiga lähedale sattumist. Tagamaks parima käe liigutuse registreerimise, peavad sõrmed olema kergelt harali ja suunatud otse üles.”

Nii treeningfaasis, kui ka katses pidid katseisikud hoidma pilku nägemisvälja keskel oleval fiksatsioonipunktil ja reageerima vajutades käes oleva hiire nupule (kui kontrastsema kera viirutus oli paremale tõusvas joones, siis parem nupp, juhul kui viirutus oli paremale langevas joones, siis vasak nupp). Katseisikuid instrueeriti käega viipama kolme sekundi jooksul peale fiksatsioonipunkti muutumist mustast punaseks. Katseisikutele tehti teatavaks, et objektide ilmumise käivitab ülespidine käe liikumine. Kui käega viipamist ei järgnenud kolme sekundi jooksul peale fiksatsioonipunkti värvivahetust, või kui käeviipe trajektoor ei vastanud nõuetele, siis katsekordus ei läinud arvesse. Kui käe viibe sooritati õigeaegselt ja koordinaatidelt õigesse alasse (Joonis 2 roosa ala), siis ilmusid stiimulid (kerad) 0,125 sekundiks. Ühe sekundi möödumisel peale stiimulite kadumist ilmus tekst: “Kumma orientatsiooniga oli kontrastsem? Kas \ või / ?”, misjärel pidi KI otsustama, kumba pidi kaldenurgaga oli tema poolt kontrastsemana tajutud stiimul. Tingimused olid tasakaalustatud ja randomiseeritud ning iga katseisiku puhul rakendati kõiki katsetingimusi. Kordusi oli kokku 200. Võimaldamaks puhkamist, esines iga 25 korduse järel 10 sekundiline paus.

Andmetöötlus

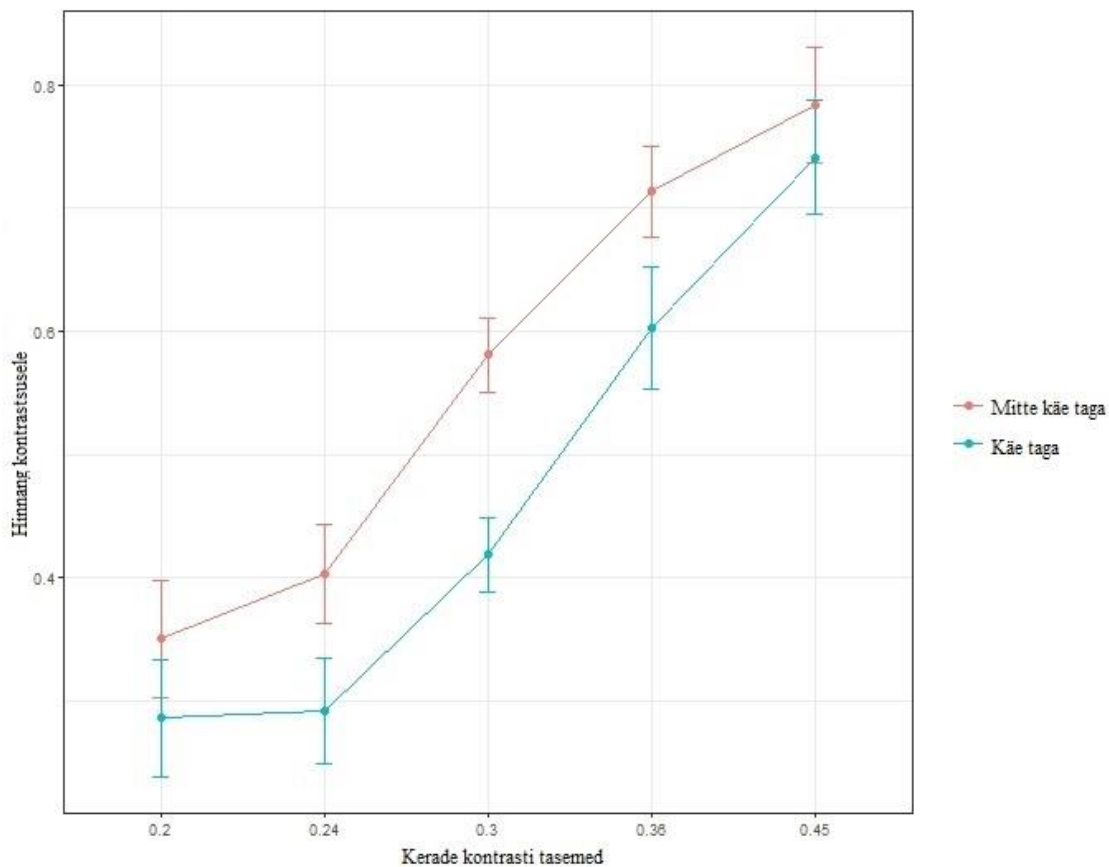
Andmete eeltöötlus ja analüüs viidi läbi programmis R (versioon 3.1.2; R Core Team, 2015). Andmetöötluse käigus langes 27 KI hulgast tulemuste tõttu välja 9 KI-d, kuna nende antud vastuste keskmine ei allunud seaduspärale $0,2 < 0,244949 < 0,3 < 0,3674235 < 0,45$. Mis võis tähendada, et KI ei olnud aru saanud ülesande püstitusest või ei tunnetanud kontrastilisi erinevusi. Kordused, milles KI ei tabanud käe trajektooriga õiget piirkonda (Joonis 2 roosa ristkülik) eemaldati. Algsest 5000 katsekordusest sooritati korrektne käeviipe 4293 korral, ehk 85.86% . Peale eelmainitud katseisikute väljalangemist ja tulemuste eemaldamist jäi 3600 kordusest alles 2999 edukalt sooritatud katsekordust ehk 83.31%, millega viidi läbi ka lõplik andmeanalüüs.

Eksperimendis võrreldi KI-de poolt pakutud vastuseid selle osas, millise viirutuse nurgaga kera on kontrastsem, variantide vahel, kus ühel juhul oli kontrastsem kera käe alas ja teisel juhul käe piirkonnast väljaspool. Tingimuste “käe taga” ja “kontrast” mõju vaatlemiseks rakendati kahe faktoriga ANOVA testi, et näha KI-de poolt pakutud vastuste (kumb pool

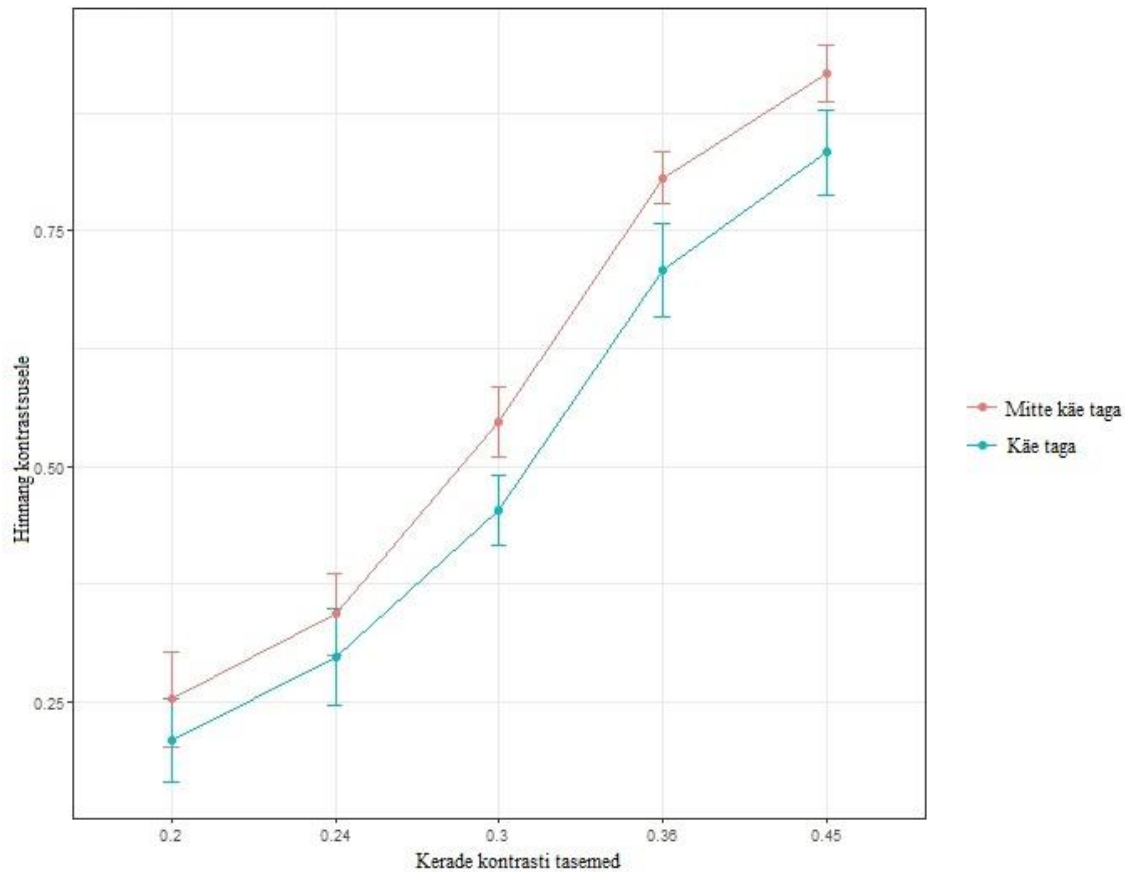
tundus kontrastsem) erinevusi erinevate katsetingimuste vahel. Ühesuunaline test sai valitud, kuna efekti suuna osas olid konkreetsed ennustused.

Tulemused

Antud uurimistöö raames läbi viidud katsete sihtstiimuliks oli viirutatud objekt, mille kontrastsuse tase kontrollstiimuliga oli varieeruv. Ehkki joonistelt 4 ja 5 on näha, et käe taga olnud stiimulite kontrastsust hinnati tõepoolest madalamalt, ei ilmnenu analüüside tulemusel, et kontrastsuse hinnangutes katsetingimuses, kus sihtstiimul jäi käe taha võrrelduna mitte käetaguse sihtstiimuliga, eksisteeriks statistiliselt olulist erinevust ($F = 0.59$; $p = 0.671$ [tulemused ilma katseisikuid eemaldamata: $F = 1.368$; $p = 0.25$]).



Joonis 4. Tulemused koos lõplikust andmeanalüüsist välja jäänud KI-dega.



Joonis 5. Lõpliku andmeanalüüsi tulemused

Arutelu ja järeldused

Katsete tulemuste analüüsimisel ei leidnud kinnitust hüpotees, et katseisikud hindavad käetaguseid stiimuleid kontrollstiimulitest vähem kontrastsemaks. Hüpoteesi kinnitamine andnuks täiendavat kinnitust teooriale, et aju surub alla visuaalse taju selles nägemisvälja piirkonnas, kus on oodata käe liikumist.

Kuna varasemad uurimistööd ja eksperimendid on andnud kinnitust aktiivse järeldamise teooriale (Shergill jt., 2003; Cardoso-Leite jt., 2010; Hughes & Waszak, 2011; Stenner jt., 2014; Laak jt., 2017), siis antud uurimistöö tulemustes esinenud näiline tagasilöökk annab pigem aimu puudujääkidest katsedisainis ja loob tugeva aluse järgnevate täiendavate uuringute katsedisainide modifitseerimiseks.

Õnnestunud katsekorduste protsent, ehk kordused, mil käsi jäi ettenähtud piirkonda, kujunes

antud katse puhul 83.31%. Seda suurusjärku on tõenäoliselt võimalik veelgi parandada. Kuna katses katseisikute juhendamisel ilmnas, et antud korraldused tundusid mõnele neist keerulised, siis korduskatse puhul aitaks tõenäoliselt katsekorralduste mõistmisele kaasa mõningate muudatuste tegemine katse treeningfaasis. Peale verbaalset selgitusfaasi, käeliigutuse harjutuse faasis, võiks kuvada katseisikule nägemisvälja tema kätt ja eduka käeviipe soorituse ala, et tekiks täpsem arusaam käeviipe piirkonna ruumilisest positsioonist ja edukaks soorituseks vajaminevast kiirusest. Harjutusfaasi teises osas, kus katseisikule kuvatakse viirutatud gloobulid, peaks pikendama gloobulite nägemisaega, et katseisik jõuaks teadvustada endale gloobulite erinevusi – nii kontrastsuse, viirutustiheduse kui ka kaldenurkade aspektist. Samal ajal võiks kuvada õigeid vastuseid nii katseisikule kui ka eksperimentaatorile, et läbi tagasisidestamise kinnitada, et katse ülesandest on üheselt/õigesti aru saadud. Katse praegusel kujul ei kuvatud ka eksperimentaatorile antud vastuste õigsust, vaid ainult seda, kas katsekordus sai läbiviidud aparatuurile katsekorduse salvestamiseks vajaliku täpsusega (Joonis 2). Seega puudus garantii, et katseisik lähtus hiirenupu vajutamisel nii gloobuli viirutusest kui ka orientatsioonist, mitte ainult gloobuli kontrastsusest või viirutusest. Sellisel moel õigete vastuste kontrollimine kuulus ainult harjutusfaasi, kuna hilisemas eksperimendifaasis puuduvad meetodist lähtuvalt valed vastused, kuna kõik registreeritud vastused on KI tundmuslikkuse alusel õiged. Lisaks kurdeti katsejärgselt, et katses ettenähtud istumise asend (Joonis 1 A) väsis selga ja kaela, muutes pilgu hoidmise stabiilselt fiksatsioonipunktil keeruliseks ning raskendas keskendumist. Pea asendi paremaks fikseerimiseks ja koormuse vähendamiseks keha stabilisaatorlihastele võiks abi olla lõuga toetavast stendist. Lisaks eelnevale, kõik katsealused kinnitasid, et nad jälgisid eksperimendi vältel konstantselt fiksatsioonipunkti, aga antud katses polnud võimalik nende väidet kontrollida. Kontrolli tõhustamiseks oleks abi silmaliikumise sensori lisamisest, kuid katse läbiviimise hetkel puudus ligipääs sellisele silmapilgu sensorile, mis ühilduks peaseadmega Oculus Rift.

Käesoleva ja teiste aktiivse järeldamise teooria eksperimentide olulisus ei seisne pelgalt lihtsas konkureeriva teooria (eferentskoopia teooria) ümberlükkamise rõõmus, vaid taju ja selle keeruliste mehhanismide põhjalikus tundmaõppimises. Korrektsed alused taju teoorias võimaldavad näiteks paremini toimivate tehisintellektide väljatöötamist ja potentsiaalselt hõlbustada erinevatel põhjustel tekkinud nägemispuude kompenseerimiseks loodava tehnoloogia loomist.

Tänuõnad

Minu siiras tänu kuulub juhendaja Jaan Arule pühendumise, toetuse, kannatlikkuse ja teoreetilise toe eest. Lisaks soovin tänada Madis Vasserit, kes aitas katsetehnika kapriisidega toime tulla ja pakkus välja loomingulisi lahendusi erinevates jooksvates küsimustes.

Kirjanduse loetelu

- Angel, R. W. (1976). Efference copy in the control of movement. *Neurology*, 26(12), 1164.
<https://doi.org/10.1212/WNL.26.12.1164>
- Blakemore, S.-J., Wolpert, D. M., & Frith, C. D. (1998). Central cancellation of self-produced tickle sensation. *Nature Neuroscience*, (7), 635.
- Blakemore, S.-J., Wolpert, D., & Frith, C. (2000.). Why can't you tickle yourself?. *Neuroreport*, 11(11), 11-16.
- Brown, H., Adams, R. A., Parees, I., Edwards, M., & Friston, K. (2013). Active inference, sensory attenuation and illusions. *Cognitive Processing*, 14(4), 411–427.
<https://doi.org/10.1007/s10339-013-0571-3>
- Cardoso-Leite, P., Mamassian, P., Schütz-Bosbach, S., & Waszak, F. (2010). A New Look at Sensory Attenuation: Action-Effect Anticipation Affects Sensitivity, Not Response Bias. *Psychological Science*, 1740(12).
- Clark, A. (2015). *Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind*. Oxford University Press.
- Frith, C. D. (1992). *The Cognitive Neuropsychology of Schizophrenia*. Psychology Press.
- Friston, K. (2010). The free-energy principle: a unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience*, (2), 127.
- Friston, K. J., & Stephan, K. E. (2007). Free-energy and the brain. *Synthese*, 159(3), 417–458. <https://doi.org/10.1007/s11229-007-9237-y>
- Friston, K., & Kiebel, S. (2009). Predictive coding under the free-energy principle. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 364(1521), 1211–1221. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0300>
- Helmholtz, H. von. (1867). *Handbuch der physiologischen Optik*. Voss.
- Hughes, G., & Waszak, F. (2011). ERP correlates of action effect prediction and visual sensory attenuation in voluntary action. *Neuroimage*, 561632-1640.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.02.057>

- Koppel, T. K. (2017). *Reduced Contrast in the Area of the Visual Field Where the Own Hand Is Moving: A Virtual Reality Study*, 39. Bakalaureusetöö. Tartu Ülikool, informaatika teaduskond.
- Laak, K.-J., Vasser, M., Uibopuu, O. J., & Aru, J. (2017). Attention is withdrawn from the area of the visual field where the own hand is currently moving. *Neuroscience of Consciousness*, 2017(1). <https://doi.org/10.1093/nc/niw025>
- Shergill, S. S., Bays, P. M., Frith, C. D., & Wolpert, D. M. (2003). Two Eyes for an Eye: The Neuroscience of Force Escalation. *Science*, (5630). 187.
- Steinbuch, J. G. (1811). *Beitrag zur Physiologie der Sinne*. Schrag.
- Stenner, M., Bauer, M., Haggard, P., Heinze, H., & Dolan, R. (2014). Enhanced Alpha-oscillations in Visual Cortex during Anticipation of Self-generated Visual Stimulation. *Journal Of Cognitive Neuroscience*, 26(11), 2540-2551.
- Vargas, A., López, M., Lillo, C., & Vargas, M. J. (2012). The Edwin Smith papyrus in the history of medicine. *Revista médica de Chile*, 140(10), 1357–1362. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872012001000020>
- Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B., & Fisseler, D. (2013). Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors*, 13(5), 6380-6393. <https://doi.org/10.3390/s130506380>

Käesolevaga kinnitan, et olen korrektselt viidanud kõigile oma töös kasutatud teiste autorite poolt loodud kirjalikele töödele, lausetele, mõtetele, ideedele või andmetele. Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis DSpace.

/Oliver Jared Uibopuu/